

Abstract (Basic): JP 2001004869 A \

NOVELTY - A photonic crystal (11) with different spot size, is coupled to optical waveguide devices. The crystal has modulated structure of refractive index so that spot size at discharge end is made different from that at incident end.

DETAILED DESCRIPTION - An INDEPENDENT CLAIM is also included for optical coupling method.

USE - For use in optical communication such as wavelength multiplex communication, wavelength multiplex super high speed optical communication.

ADVANTAGE - Enables efficient optical coupling irrespective of waveguide width.

DESCRIPTION OF DRAWING(S) - The figure shows the component model diagram of optical coupling element.

Photonic crystal (11)

pp; 6 DwgNo 1/9

Title Terms: OPTICAL; COUPLE; ELEMENT; OPTICAL; COMMUNICATE; PHOTON; CRYSTAL; SPOT; SIZE; DISCHARGE; INCIDENT; END; SET; MUTUAL

Derwent Class: P81; V07

International Patent Class (Main): G02B-006/30

File Segment: EPI; EngPI

Manual Codes (EPI/S-X): V07-G10D

?

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開2001-4869

(P2001-4869A)

(43) 公開日 平成13年1月12日 (2001.1.12)

(51) Int.Cl.<sup>7</sup>

G 0 2 B 6/30

識別記号

F I

G 0 2 B 6/30

テーム\* (参考)

2 H 0 3 7

審査請求 有 請求項の数 5 O L (全 6 頁)

(21) 出願番号 特願平11-177495

(22) 出願日 平成11年6月23日 (1999.6.23)

(71) 出願人 000004237

日本電気株式会社

東京都港区芝五丁目7番1号

(72) 発明者 小坂 英男

東京都港区芝五丁目7番1号 日本電気株式会社内

(74) 代理人 100108578

弁理士 高橋 昭男 (外3名)

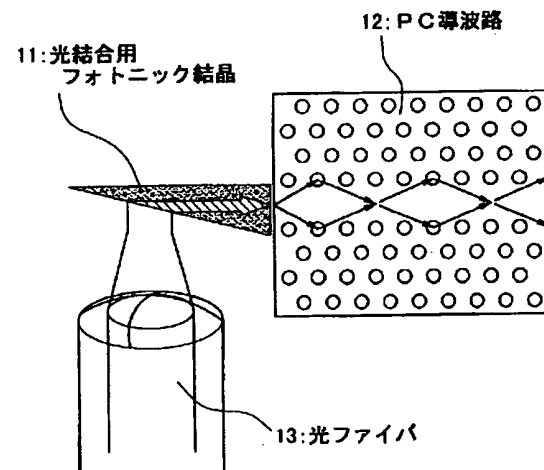
Fターム (参考) 2H037 AA01 CA00

(54) 【発明の名称】 フォトニック結晶を用いた光結合素子および光結合方法

(57) 【要約】

【課題】 入射側光線のスポットサイズと出射側光線のスポットサイズを桁違いに変換することを可能とした光結合素子および光結合方法を提供する。

【解決手段】 スポットサイズが異なる光導波路素子どうしを結合する光結合素子に、前記光導波路素子の利用する光の波長と同程度の間隔で周期的な屈折率の変調構造を有する光結合用フォトニック結晶11を用いることにより、その出射端でのスポットサイズを入射端でのスポットサイズと異なるサイズに変換する。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 スポットサイズが異なる光導波路素子どうしを結合する光結合素子に、前記光導波路素子の利用する光の波長と同程度の間隔で周期的な屈折率の変調構造を有するフォトニック結晶を用いることにより、その出射端でのスポットサイズを入射端でのスポットサイズと異なるサイズに変換することを特徴とする光結合素子。

【請求項2】 前記フォトニック結晶の有する分散面が、光入射方向から見て傾斜しているように結晶配置および光入射方向を設定することにより、フォトニック結晶内伝播光の波数空間での広がり幅が、入射光の波数空間での広がり幅に対して拡大するよう設定し、この広がり幅と逆比例の関係にある実空間でのスポットサイズを相対的に縮小させることを特徴とする請求項1に記載の光結合素子。

【請求項3】 前記フォトニック結晶の有する分散面の曲率を、入射光の有する光錐の曲率より大きくなるよう設定し、フォトニック結晶内の実効屈折率を大きくし、波数空間での広がり幅と実空間でのスポットサイズとの積を小さくし、フォトニック結晶内伝播光の実空間でのスポットサイズを実効的に小さくすることを特徴とする請求項1または2に記載の光結合素子。

【請求項4】 前記フォトニック結晶の有する分散面の曲率を、入射光の有する光錐の曲率より小さくなるよう設定し、フォトニック結晶内伝播光の実空間でのスポットサイズを実効的に大きくすることを特徴とする請求項3に記載の光結合素子。

【請求項5】 スポットサイズが異なる光導波路素子どうしを結合する光結合素子に、前記光導波路素子の利用する光の波長と同程度の間隔で周期的な屈折率の変調構造を有するフォトニック結晶を用いることにより、その出射端でのスポットサイズを入射端でのスポットサイズと異なるサイズに変換することを特徴とする光結合方法。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、光通信、特に波長多重通信や超高速光通信等に用いられる光結合素子および光結合方法に関する。

## 【0002】

【従来の技術】従来の技術として、図3に示した、特開平8-234062号公報に記載の「光結合デバイスおよび光結合方法」がある。この従来技術を以下に説明する。半導体基板102上に光の伝搬方向に形状がテーパ状に変化しているコア101を形成し、このコアを取り囲むように第1のクラッド層103を形成する。第1のクラッド層の屈折率はコアよりも小さく、かつ半導体基板102よりも大きい。ここで、第1のクラッド層103の厚さも2は、少なくとも、スポットサイズの大きい

光導波路素子との光結合端面近傍において、光結合端面のスポットサイズが、前記スポットサイズの大きい光導波路素子のスポットサイズの大きさに合うように設計される。このような光結合デバイスおよび光結合方法により、スポットサイズを変換し、異なるスポットサイズの光導波路素子を光結合することが可能となる。

## 【0003】

【発明が解決しようとする課題】しかし、上述の光結合デバイスおよび光結合方法には、以下のような課題がある。すなわち、上述の光結合デバイスおよび光結合方法では、入射側光線のスポットサイズと出射側光線のスポットサイズを桁違いに変換することは難しい。特に、出射側光線のスポットサイズを波長程度まで小さくするには、上記コア101のテーパを極めて急にする必要があり、もはやテーパとは定義できない形状になることが容易に想像される。この結果、低損失で変換することが難しくなる。特に、図1に示すようなフォトニック結晶を用いた導波路を想定した場合には、導波路サイズが1 $\mu$ m以下と波長以下となり、このサイズまでスポットサイズ変換することは上記従来技術では不可能と考えられる。

【0004】本発明は上記課題を克服するためになされたもので、入射側光線のスポットサイズと出射側光線のスポットサイズを桁違いに変換することを可能とした光結合素子および光結合方法を提供するものである。特に、図1に示すようなフォトニック結晶を用いた導波路への光ファイバからの光結合を目的とする。すなわち、光ファイバからの出射光のスポットサイズは約10 $\mu$ mであるのに対して、フォトニック結晶導波路の幅は1 $\mu$ m以下であり、スポットサイズを10分の1以下に変換する必要がある。

## 【0005】

【課題を解決するための手段】請求項1に記載の発明は、スポットサイズが異なる光導波路素子どうしを結合する光結合素子に、前記光導波路素子の利用する光の波長と同程度の間隔で周期的な屈折率の変調構造を有するフォトニック結晶を用いることにより、その出射端でのスポットサイズを入射端でのスポットサイズと異なるサイズに変換することを特徴とする光結合素子である。

【0006】請求項2に記載の発明は、前記フォトニック結晶の有する分散面が、光入射方向から見て傾斜しているように結晶配置および光入射方向を設定することにより、フォトニック結晶内伝播光の波数空間での広がり幅が、入射光の波数空間での広がり幅に対して拡大するよう設定し、この広がり幅と逆比例の関係にある実空間でのスポットサイズを相対的に縮小させることを特徴とする請求項1に記載の光結合素子である。

【0007】請求項3に記載の発明は、前記フォトニック結晶の有する分散面の曲率を、入射光の有する光錐の曲率より大きくなるよう設定し、フォトニック結晶内の

実効屈折率を大きくし、波数空間での広がり幅と実空間でのスポットサイズとの積を小さくし、フォトニック結晶内伝播光の実空間でのスポットサイズを実効的に小さくすることを特徴とする請求項1または2に記載の光結合素子である。

【0008】請求項4に記載の発明は、前記フォトニック結晶の有する分散面の曲率を、入射光の有する光錐の曲率より小さくなるよう設定し、フォトニック結晶内伝播光の実空間でのスポットサイズを実効的に小さくすることを特徴とする請求項3に記載の光結合素子である。

【0009】請求項5に記載の発明は、スポットサイズが異なる光導波路素子どうしを結合する光結合素子に、前記光導波路素子の利用する光の波長と同程度の間隔で周期的な屈折率の変調構造を有するフォトニック結晶を用いることにより、その出射端でのスポットサイズを入射端でのスポットサイズと異なるサイズに変換することを特徴とする光結合方法である。

【0010】本発明で用いるフォトニック結晶は、その分散面(波数空間での等エネルギー面)が光入射方向から見て傾斜しているように結晶配置および光入射方向が設定されるか、あるいは分散面の曲率が入射光の有する光錐の曲率より大きくなるように設定される。

【0011】

【発明の実施の形態】まず、本発明の原理を説明する。前述の課題は、フォトニック結晶(以下PCと呼ぶ)を用い、以下のような原理を利用することによって解決される。まず、最も単純なスポットサイズ変換を考えてみる。スポットサイズ変換は、原理的には、図4に示すような一枚のレンズを用いて行える。この場合、レンズの開口直径をD、レンズから集光スポットまでをSとすると、集光点での直径W(光強度が $1/e^2$ となる距離SでのビームウエストW)は以下の式で与えられる。

$$W = 4\lambda / \pi \cdot S / D \quad (1)$$

ここで $\lambda$ は媒質内での波長である。

【0012】ビームウエストWを $\lambda/2$ とするには、 $S/D$ (F値)を0.39とする必要があり、通常のレンズでは困難である。特にこのときの焦点深度DOFは、 $DOF = 8\lambda / \pi \cdot [S/D]^2$  (2)

より0.39 $\lambda$ となり、1.55mm帯の場合、0.6mmしかないことが分かる。レンズコスト、アライメント、サイズなどの問題が容易に想像される。

【0013】次に、上述した通常の回折光学の限界を不確定性関係の形で考え直してみる。式(1)を以下のように書き直してみる。

$$W \cdot [2\pi n / \lambda_0 \cdot D / S] = 8 \quad (3)$$

ここで $\lambda_0$ は真空中の波長、 $n$ は媒質の屈折率である。左辺のWは実空間上の広がりを、[ ]内は波数空間上の(横方向の)広がりを表している。これらを $\Delta r$ 、 $\Delta k$ と表せば、

$$\Delta r \cdot \Delta k > 2\pi \quad (4)$$

という不確定性関係におけるほぼ極小値となっていることがわかる。つまり、上述の最も単純なスポットサイズ変換では、 $\Delta k$ を意図的に拡大することによって、代わりに $\Delta r$ を縮小するスクイズド状態を生み出していると解釈できる。

【0014】ところで、式(4)の屈折率 $n$ を右辺に移し、

$$\Delta r \cdot \Delta k_0 > 2\pi / n \quad (5)$$

と書き直せば( $k_0$ は真空中の波数)、 $n$ を大きくするほど $\Delta r$ と $\Delta k_0$ の積を実質的に小さくできることがわかる。先のスクイズ効果に対して揺らぎの積自体を全体的に縮小するので、シュリンク効果と呼べる。

【0015】次に、上記概念を踏まえ、フォトニック結晶を用いたスポットサイズ変換を考えてみる。以下、上述のスクイズ効果とシュリンク効果を順に説明する。

【0016】最初に、 $\Delta k$ をできるだけ大きくし、 $\Delta r$ を抑えるスクイズ法を考える。図5のような波数空間を考える。横軸は入射面に対して平行な波数成分を、縦軸は垂直な波数成分を表している。図中の直線は通常屈折率楕円体と呼ばれる分散関係の一部で、分散面とここでは呼ぶ。横方向の波数広がり $\Delta k_i$ を持つ入射光はこの分散面によって媒質内での波数広がり $\Delta k_p$ に変換される。この図より分かるように、分散面が入射面より傾いているほど $\Delta k_p / \Delta k_i$ 比は大きく取れ、逆に $\Delta r_p$ は $\Delta r_i$ より小さくできる。

【0017】通常の結晶ではこの分散面(屈折率楕円体)は、図6のように円形をしており、しかも $n > 1$ (吸収のない波長において)のため真空中の分散面よりも必ず大きく、図のように $\Delta k_p / \Delta k_i$ 比はあまり大きく取れないという事情がある。

【0018】フォトニック結晶では、この分散面の形状を自由に制御することができる。例えば、図7のような星状の分散面を考えると、図の斜線の領域では分散面が鋭く傾斜しており、 $\Delta k_p / \Delta k_i$ 比はかなり大きいことが分かる。

【0019】次にシュリンク効果を考える。つまり、実効的な $n$ を極めて大きく取ることにより、同じ $\Delta k$ でも実効的に $\Delta r$ を縮小する方法を考える。フォトニック結晶中では、屈折率は正確には定義できないため、以下のように考える。通常の(等方性)結晶では、屈折率に比例して分散面(屈折率楕円体)の円の半径が大きくなる。PCではこれが円形ではないため、注目領域の曲率半径で実効屈折率を定義することにする。つまり、直線に近いほど実効的に $n$ が大きくなり、 $\Delta r$ と $\Delta k$ の積を小さくすることが可能である。図7の分散面は、斜線部において、およそこの条件を満たしており、 $\Delta k$ と $n$ の2つの相乗効果が期待できる。

【0020】幸いなことに、上記の $n \sim \infty$ の条件は、うまく条件を合わせれば、回折限界よりはるかに細いコリメート光が生成できることになる。通常の結晶を用いた

場合に比べ、焦点深度が(理想的には)無限であり、並進自由度があるため、アライメントコストが大幅に低減できる。

【0021】次に、本発明の一実施形態を図面を参照して具体的に詳細に説明する。本実施形態は、本発明の請求項1から4に係わる光結合素子の実施形態の一例であって、図1は本実施形態の光結合素子の構造を示す模式図である。

【0022】上記の原理の説明で参照した図7に示す、星形をした媒質中の分散面72は、実際のPCで得ることができる。図2にそのPCの立体構造を示す。厚さ2 $\mu$ mのSi(シリコン)21が、上下2枚のSiO<sub>2</sub>(酸化シリコン)22および23に挟まれている。Si21には直径0.6mmの円筒状の穴が0.7mmのピッチで三角格子状に開けられている。

【0023】このPCを図1のようにPC導波路12に対して配置する。その構造を以下に説明する。図2の構造を持つPCを、図1の光結合用PC11に示したように斜めに加工し、光ファイバ13とPC導波路12の中間に配置する。光結合用PC11の傾斜角は、PC導波路12に対して70°となるようにする。光ファイバ13から出る出射光は、光結合用PC11の入射面の法線方向に対して7°となるようにする。また、光結合用PC11の入射端面は図2の光入射面24とし、光出射面25をこれに対して70°の角をなすよう光学研磨する。光ファイバからの出射光は波長が1.55 $\mu$ mであると想定する。

【0024】実際にスポットサイズの変換を試みた実験の結果を図8及び図9に示す。入射光82のモード幅(A)約40 $\mu$ mに対し、PC81内の伝播光83のモード幅(B)約4 $\mu$ mが得られており、スポットサイズ変換率として1/10が得られている。本実験では評価上の都合により入射光82のモード幅(A)として約40 $\mu$ mを用いたが、図1に示したようにコア径10 $\mu$ mの光ファイバ13からの出射光を先球加工により5 $\mu$ m程度まで絞って光結合用PC11に入射すれば、光結合用PC11で1/10に絞ることにより0.5 $\mu$ mのスポットサイズが得られ、PC導波路12に効率良く光結合することができる。

【0025】

【発明の効果】本発明によれば、波長程度の導波路幅を持つ光導波路素子にも効率良く光結合することができる。

#### 【図面の簡単な説明】

【図1】 本発明の一実施形態のフォトニック結晶を用いた光結合素子の構成を示す模式図である。

【図2】 本発明の一実施形態のフォトニック結晶を用いた光結合素子の光結合用フォトニック結晶の構造を示す模式図である。

【図3】 従来例の光結合デバイスの構成を示す模式図である。

【図4】 本発明の原理を説明するための図である。

【図5】 本発明の原理を説明するための図である。

【図6】 本発明の原理を説明するための図である。

【図7】 本発明の原理を説明するための図である。

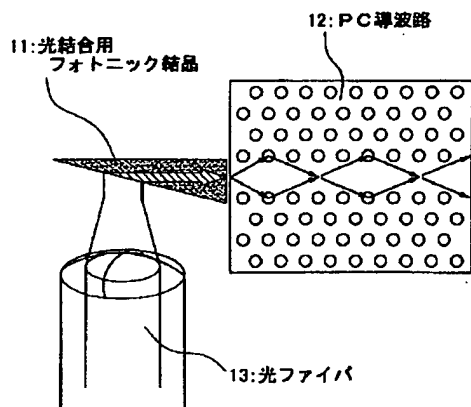
【図8】 本発明の実施形態で使用了光結合素子のスポットサイズ変換効果を説明するための図である。

【図9】 本発明の実施形態で使用了光結合素子のスポットサイズ変換効果を説明するための図である。

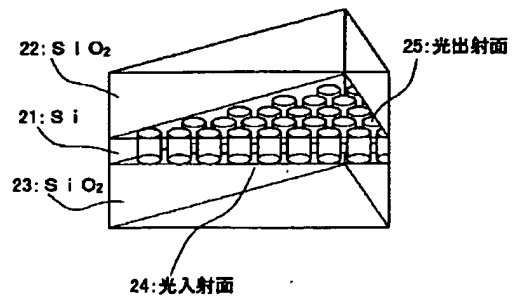
#### 【符号の説明】

- 11 光結合用フォトニック結晶
- 12 フォトニック結晶導波路
- 13 光ファイバ
- 21 導波層
- 22 クラッド層
- 23 クラッド層
- 24 光入射面
- 101 コア
- 102 半導体基板
- 103 クラッド層
- 107 出射光
- 108 入射光
- 41 入射側スポット
- 42 レンズ
- 43 出射側スポット
- 51 分散面
- 61 真空中の分散面
- 62 媒質中の分散面
- 71 真空中の分散面
- 72 媒質中の分散面
- 81 フォトニック結晶
- 82 入射光
- 83 伝播光
- 91 入射光
- 92 伝播光

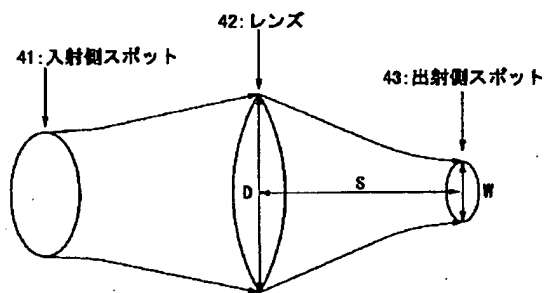
【図 1】



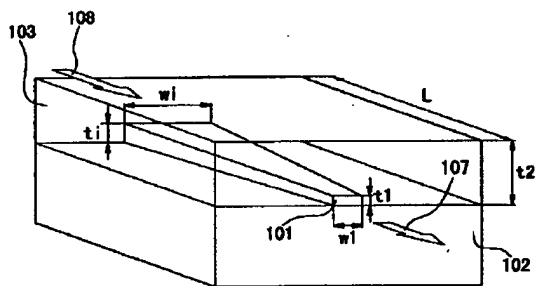
【図2】



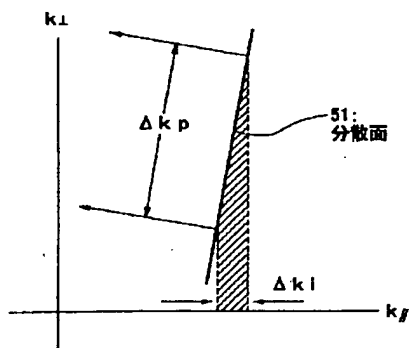
【図4】



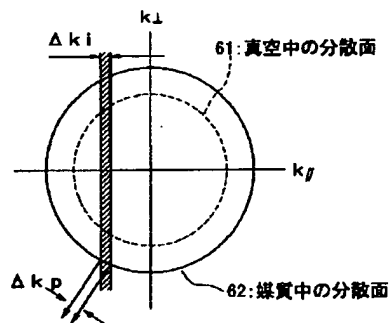
【図3】



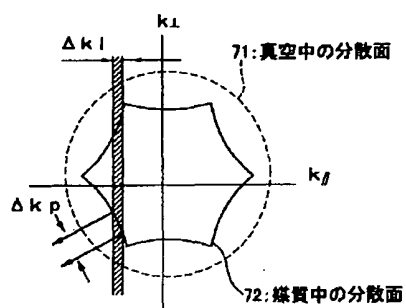
【图5】



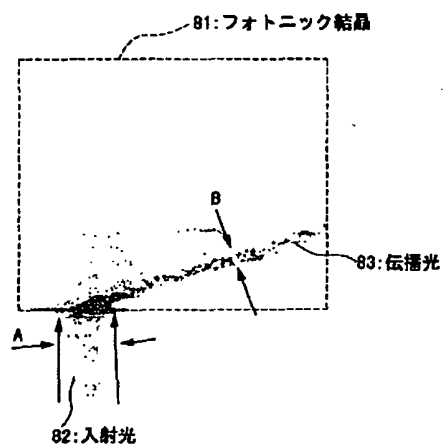
【図6】



【図7】



【図8】



【図9】

